

ME 4
(251/1958)

UDC 620.178.311.8

ACTA POLYTECHNICA SCANDINAVICA

MECHANICAL ENGINEERING SERIES No. 4

J. SALOKANGAS

**Die korrosionsbedingten Ermüdungsbrüche der
Pleuelstangen bei Gattersägen**

Finnish Contribution No. 5

Also published as PUBLICATION No. 43 OF THE STATE INSTITUTE FOR TECHNICAL RESEARCH, FINLAND

HELSINKI 1958

ACTA POLYTECHNICA SCANDINAVICA

... a Scandinavian contribution to international engineering sciences

Published by the Scandinavian Council for Applied Research and co-sponsored by

The Danish Academy of Technical Sciences

The Finnish Academy of Technical Sciences and The State Institute for
Technical Research

The Norwegian Academy of Technical Science and The Royal Norwegian
Council for Scientific and Industrial Research

The Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, The Swedish Natural
Science Research Council, and The State Council of Technical Research

Acta Polytechnica Scandinavica is divided into the following sub-series:

Chemistry including Metallurgy series, Ch

Civil Engineering and Building Construction series, Ci

Electrical Engineering series, El

Mathematics and Computing Machinery series, Ma

Mechanical Engineering series, Me

Physics including Nucleonics series, Ph

For subscription to the complete series or to one or more of the sub-series and
for purchase of single copies, please write to

ACTA POLYTECHNICA SCANDINAVICA PUBLISHING OFFICE

Box 5073

Stockholm 5

Sweden

Phone 61 47 53

This issue is published by
THE STATE INSTITUTE FOR TECHNICAL RESEARCH
Helsinki, Finland

25

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSLAITOS
STATENS TEKNISKA FORSKNINGSANSTALT
STAATLICHE TECHNISCHE FORSCHUNGSANSTALT, FINNLAND

JULKAISU 43 PUBLIKATION

DIE KORROSIONSBEDINGTEN
ERMÜDUNGSBRÜCHE DER
PLEUELSTANGEN BEI GATTERSÄGEN

JAAKKO SALOKANGAS

*FATIGUE FAILURES OF THE CONNECTING RODS
OF FRAME SAWS UNDER CORROSION
ENGLISH SUMMARY*

HELSINKI 1958

INHALT

| | S. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 EINLEITUNG | 5 |
| 2 DAS MATERIAL DER PLEUELSTANGE UND DIE BEIM SÄGEN DARAUF EIN- WIRKENDEN KRÄFTE..... | 7 |
| 3 DIE KORROSIONSERMÜDUNG UND DIE KORRODIERENDEN VERHÄLTNISSE IM SÄGEWERK..... | 10 |
| 4 STATISTIK ÜBER DIE PLEUELSTANGENBRÜCHE | 16 |
| 5 DAUERSTANDFESTIGKEITSVERSUCH MIT EINER PLEUELSTANGE..... | 18 |
| 6 DIE VORBEUGUNG DER PLEUELSTANGENBRÜCHE | 20 |
| 7 ZUSAMMENFASSUNG..... | 21 |
| SUMMARY, Fatigue of the connecting rods of frame saws under corrosion. | 22 |
| 8 SCHRIFTTUM..... | 23 |

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF THE HISTORY OF ARTS
AND ARCHITECTURE
1100 EAST 58TH STREET
CHICAGO, ILLINOIS 60637
TEL: 773-936-5000
FAX: 773-936-5001
WWW.HA.UCHICAGO.EDU

1. EINLEITUNG

In dem Aufsatz werden nur Pleuelstangenbrüche bei Sägen behandelt, doch dürften die in diesem Zusammenhang hervorgebrachten Umstände auch allgemeineres Interesse in der Maschinenbautechnik besitzen. In Finnland sind die neueren Pleuelstangen fast ausnahmslos aus Vergütungsstahl hergestellt und die obere Öse der Pleuelstange ist mit Nadellager versehen.

Pleuelstangenbrüche bei Gattersägen sind in unserem Lande im allgemeinen reichlich vorgekommen und haben erheblichen materiellen Schaden in Form der Zerstörung teurer Maschinenteile und eingebüßter Arbeitszeit verursacht. Da die Brüche ohne Ausnahme korrosionsbedingte Ermüdungsbrüche sind, müssten die Unfälle auf diese oder jene Weise verhütbar sein. Bild 1.

Die zusammengetragenen Statistiken über Brüche der besprochenen Art lassen erkennen, dass in einigen Sägewerken Pleuelstangenbrüche bedeutend viel zeitiger als bei anderen eintreten. Im allgemeinen hängt die Lebensdauer der Pleuelstange von den Korrosionsbedingungen ab, und zwar sind Lebensdauern von weniger als einem Jahr sowie andererseits von etwa 20 Jahren verzeichnet worden, während die Pleuelstangen im Mittel ein Alter von etwa 2...5 Jahren erreichen.

In Finnland ist man seit einigen Jahren bestrebt, den Brüchen in der Weise vorzubeugen, indem man in regelmässigen Zeitabständen die Pleuelstangen einer Inspektion mittels Ultraschall unterzieht, Bild 2. Der Ultraschall bringt Ansätze zu Ermüdungsbrüchen an den Tag; ist der Riss einer solchen Grössenordnung, dass er sich nicht durch Abfeilen oder Schleifen entfernen lässt, so wird in der Regel die Pleuelstange aus dem Betrieb genommen. Diese Methode der Ultraschallinspektion zu gewissen Terminen ist nicht immer genügend, denn die Inspektionen erfolgten nicht so häufig, dass nicht die Zeitspanne zwischen zwei Prüfungen zur Ausbildung eines Bruchs hinreichend wäre.

Das beste Mittel zur Verhütung von Unfällen ist gegebenenfalls ein solcher Schutz der Pleuelstange, dass sich überhaupt kein korrosionsbedingter Ermüdungs-



Bild 1. Typischer Ermüdungsbruch einer Pleuelstange.

Fig. 1. Typical fatigue failure of a connecting rod.



Bild 2. Ultraschallinspektion einer Pleuelstange.

Fig. 2. Ultrasonic inspection of a connecting rod.

bruch ausbilden kann. Die gegenwärtig im Gebrauch stehenden Pleuelstangen sind in keiner Weise gegen Korrosion geschützt.

2. DAS MATERIAL DER PLEUELSTANGE UND DIE BEIM SÄGEN DARAUF EINWIRKENDEN KRÄFTE

Die Pleuelstangen werden zumeist aus leicht mit Chrom und Nickel legiertem Vergütungsstahl hergestellt, mit einer Zerreissfestigkeit im vergüteten Zustand von ca. 70 kp/mm^2 , einer Dehnung von 20 % und einer Kerbschlagzähigkeit mit dem DVM-Stab von 10 kpm/cm^2 . Die endgültige Oberfläche der Pleuelstange ist in Handarbeit feingeschliffen. In früherer Zeit wurde die Oberfläche nicht geschliffen, sondern es wurde vielfach eine recht raue Bearbeitungspur belassen, was sicherlich seinerseits zur Wahrscheinlichkeit des Bruchs beigetragen hat. Selbst bei einwandfreier Oberflächenbeschaffenheit können im Gebrauch zugezogene Bestossungen und Kratzer die Ursache zur Entstehung eines Ermüdungsbruchs abgeben, und zwar insbesondere dann, wenn die Pleuelstange dem Einfluss eines dynamischen Spannungszustands und der Spannungskorrosion ausgesetzt ist. Die Formgebung der Pleuelstangen erscheint gegenwärtig bereits gelungen; ein Anzeichen hierfür ist, dass die Brüche nicht mehr in den gekrümmten Abschnitten und bei den Ösen sondern so gut wie ausschliesslich am Stiel erfolgen. Kaltsprödigkeit stellt auch keine Ursache zu Brüchen in Finnland dar, denn die Kerbschlagzähigkeit des Pleuelstangenmaterials bei 0°C ist etwa 8 kpm/cm^2 .

Zur Ermittlung der in der Pleuelstange auftretenden Spannungen wurden für eine in Finnland hergestellte Gattersäge die Festigkeitsberechnungen ebenso wie auch experimentelle Spannungsmessungen ausgeführt; die Säge arbeitete mit einer Geschwindigkeit von 360 U/min, einem Vorschub von 34 mm je Hub und einer gesamten Schnittlänge von 780 mm. Die auftretenden Kräfte setzen sich aus Massekräften und aus den Sägekräften zusammen; hierbei sind die letzteren bei weitem die geringeren. Die Sägekräfte wurden nach Kivimaa [3] berechnet. Nach diesem Vorgehen ergab sich für den höchsten, in der Pleuelstange wirkenden dynamischen Spannungszustand der berechnete Wert $\pm 4 \text{ kp/mm}^2$. Der dynamische Spannungszustand der mit Nadel-lager versehenen Pleuelstange wurde ebenfalls unter Anwendung von Dehnungsmess-

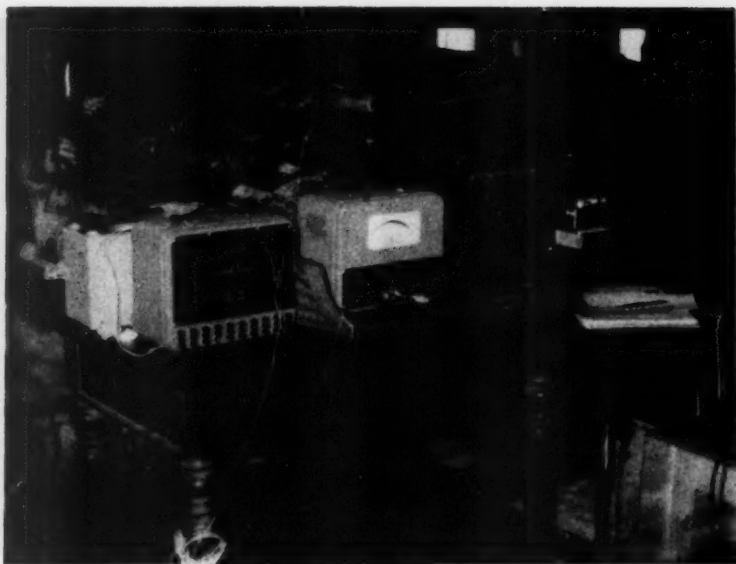


Bild 3. Anordnung der Messapparatur im Sägewerk zum Zweck der dynamischen Spannungsamplitude.

Fig. 3. Arrangement of the measuring equipment in a saw mill for dynamic stress measurements.

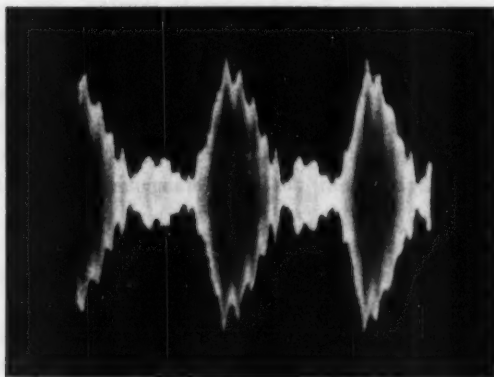


Bild 4. Aufnahme eines Kathodenstrahloszillogramms der Spannungsamplitude.

Fig. 4. Photograph of a cathode ray oscillogram showing the stress amplitude.

streifen gemessen. Bei den hierzu vorgenommenen Sägeversuchen wurde ein Kiefernholzblock von $6\frac{1}{2}$ in. mit normalem Feuchtigkeitsgehalt bearbeitet und zum Zweck der Messung waren an mehreren Stellen der Pleuelstange Dehnungsmessstreifen angebracht. Aus Bild 3 ist die Anordnung der Messapparatur im Sägewerk und aus Bild 4 ein photographisch festgehaltenes Kathodenstrahloszillogramm der Spannungsamplitude ersichtlich. Als höchste dynamische Spannung lieferte die Messung den Wert $\pm 5 \text{ kp/mm}^2$. Der Unterschied zwischen berechnetem und gemessenem Spannungszustand dürfte in erster Linie auf die Ungenauigkeit des berechneten Zustandes zurückzuführen sein. Jedoch hat dieser Unterschied keine sonderlich grosse Bedeutung. Es kommen keine kritischen Schwingungen in der Pleuelstange vor. Dies ist leicht feststellbar durch Messen der Eigenfrequenz der Pleuelstange, wofür sich hier etwa 325 1/s ergab.

3. DIE KORROSIONSERMÜDUNG UND DIE KORRODIERENDEN VERHÄLTNISSE IM SÄGEWERK

Nachdem die Metalloberfläche infolge der Korrosion uneben geworden ist, liegt wegen der Kerbwirkung eine geringere Dauerstandfestigkeit vor. Gewissermassen ist also der Einfluss der Korrosion mit einer schlecht bearbeiteten Oberfläche vergleichbar. Der herabsetzende Einfluss der Korrosion auf die Dauerstandfestigkeit ist erheblich

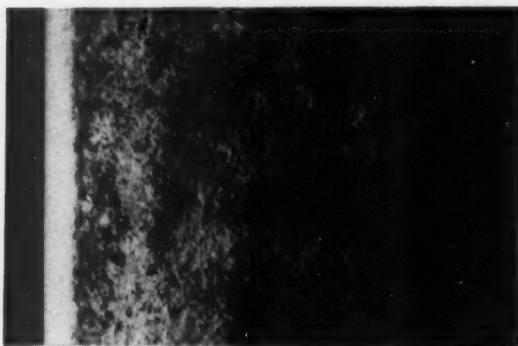


Bild 5. Lochfrass an einer Pleuelstange.

Fig. 5. Pitting of a connecting rod.

grösser während eines dynamischen Spannungszustands als wenn der Gegenstand zuerst in entsprechender Weise der Korrosion preisgegeben und erst danach unter dynamische Spannung gebracht würde. Diese Erscheinung lässt sich derart erklären, dass sich das Korrosionsprodukt als schützende Schicht auf die Oberfläche des Gegenstands legt. Wirkt nun zu gleicher Zeit eine Wechsellastspannung, so wird hierdurch die schützende Schicht zerrissen, und durch die entstandenen Risse hindurch kann

der korrodierende Stoff dank des Kapillarphänomens erneut eine unversehrte Fläche angreifen [5, 2]. Der Angriff bildet sich dann mit der Zeit zum Lochfrass aus. Bild 5 zeigt ein Beispiel von typischem Lochfrass an der Pleuelstange einer Säge ohne Salz-
wasserangriff. In Bild 6 ist ein mittels des Magnetpulververfahrens hervorgebrachter,

durch Korrosionsermüdung bewirkter Riss sowie typischer Lochfrass bei einer von Seewasser angegriffenen Säge zu sehen. Die Lastfrequenz hat ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die Ermüdung. Je höher die Frequenz, umso weniger Zeit je Lastwechsel bleibt für die Korrosionswirkung übrig; folglich wird die sog. Wöhler-Lebensdauer [7] länger. Schon Luft allein bewirkt eine niedrigere Dauerstandfestigkeit im Vergleich zu derjenigen, die man im Vakuum erhalten würde, und zwar ist dies auf den Luftsauerstoff und die in der Luft vorhandene Feuchtigkeit zurückzuführen. Die Menge des auf den Gegenstand einwirkenden Wassers ist nicht von wesentlichem Belang. Die Hauptsache ist, dass der Luftsauerstoff zu gleicher Zeit auf die Oberfläche des Prüfkörpers einwirken kann. Wie aus Bild 5, 6 und 8 hervorgeht, hat Seewasser einen weit stärkeren Einfluss als salzfreies Wasser. Es sei erwähnt, dass die Vergütungsstähle mit hoher Festigkeit kaum eine grössere korrosionsbedingte Dauerstandfestigkeit besitzen als die weichen Stähle gewöhnlicher, billiger Handelsqualität. Es ist zu bemerken, dass z.B. die rostfreien 18/8 % CrNi-Stähle und die seewasserbeständigen Al-Legierungen eine beträchtliche Schwächung erfahren, wenn sie dynamischer Belastung ausgesetzt sind. Die Erscheinung wird derart erklärt, dass die diese Metalle schützende Oxydschicht unter dynamischer Last zerreißt und dadurch der Korrosion Zutritt gibt [7]. Auch Zug- und Druckbeanspruchung als Ermüdungsbelastung wirken in verschiedener Weise. Unter Zuglast wirkt die Korrosion stärker als bei Druckbelastung, weshalb die Korrosion im letzteren Fall einen geringeren Einfluss auf die Dauerstandfestigkeit hat. Ebenso verhält es sich auch mit der Kerbwirkung. Daher sind alle solchen Behandlungen geeignet die Dauerstandfestigkeit zu erhöhen, welche die Druckspannungen an der Oberfläche des Gegenstands vermehren. Z.B. vergrößert die "shot peening"-Behandlung die Dauerstandfestigkeit auch bei korrosionsbehafteter Ermüdungslast.

In einem Sägewerk ist die Luft stets recht feucht und die durch die Säge laufenden Blöcke sind in der Regel nass. Überdies schlägt sich das Sägemehl zu einer ständig feuchten Schicht auf der Oberfläche der Pleuelstange nieder. Die Holzmasse enthält auch schwache Säuren, von denen u.a. Gerbsäure und Essigsäure erwähnt werden

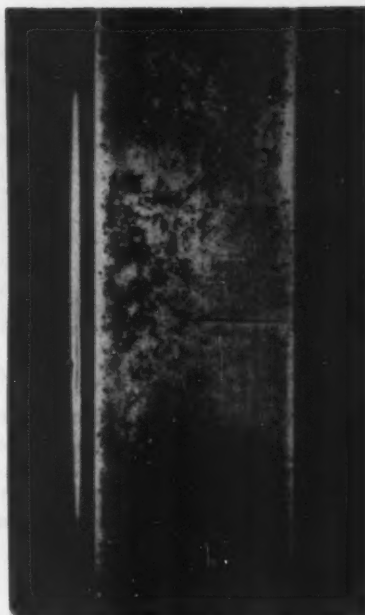


Bild 6. Nach dem Magnetpulverfahren sichtbar gemachter Riss, sowie typischer Lochfrass.

Fig. 6. Fissure made evident by the magnetic powder method, and typical pitting.

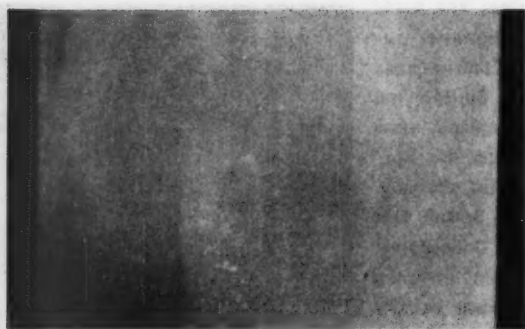


Bild 7. Einwandfreie Pleuelstangenoberfläche.

Fig. 7. Faultless surface of a connecting rod.

können. Ferner enthält das Wasser der Flösstrassen korrodierende Stoffe; dies ist besonders an solchen Orten der Fall, wo auch andere Industrieanlagen, beispielweise Zellulosefabriken tätig sind. Wie bereits erwähnt, hat der Salzgehalt des Seewassers einen stark korrodierenden Einfluss. Der Luftsauerstoff gelangt auch effektiv zum Angriff, da sich beim Gang der Säge um die Pleuelstange herum eine kräftige

Luftströmung ergibt. Infolge der oben aufgeführten Umstände sind somit die Voraussetzungen zum Auftreten von Korrosion in der Pleuelstange die denkbar besten.

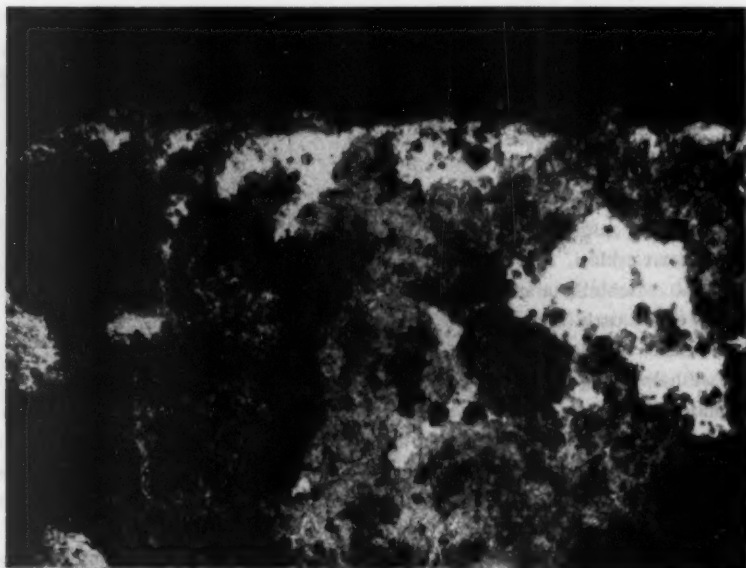


Bild 8. Weit fortgeschrittene Korrosion der Oberfläche einer Pleuelstange.

Fig. 8. Advanced corrosion of the surface of a connecting rod.

Die Ermüdungserscheinung nimmt in höherer Temperatur einen rascheren Verlauf als in niedrigerer. Durch den Temperaturanstieg wird die Kinetik der chemischen Reaktionen beschleunigt und auch die Kapillarscheinung gewinnt an Stärke. Bei einer Steigerung der Temperatur im Stahl von $+15$ bis $+45^{\circ}\text{C}$ z. B. betrug die Lastzahl bis zum Bruch beim rotierenden Biegeermüdungsversuch ca. 60 % des Werts bei $+15^{\circ}\text{C}$. Ein ungefähr ebensolches Ergebnis wurde bei mehreren verschiedenen Spannungen erzielt [2]. Die gleiche Erscheinung ist auch bei den Pleuelstangen der Sägen wahrgenommen worden, indem bei diesen die Korrosion in Endennähe stärker als in der Mitte ist. Desgleichen zeigen die Brüche eine Neigung, sich vorzugsweise näher dem oberen bzw. unteren Ende einzustellen. Dies ist auf den durch die Lagerreibung hervorgerufenen Temperaturanstieg zurückführbar, wodurch beide Enden eine höhere Temperatur als die Pleuelstangenmitte haben. Nach Gough [5] hat die Korrosionsermüdung folgenden Einfluss auf Stahl mit 0,5 % Kohlenstoff, der während der Versuche mit Salzwasser berieselt wurde: Bei dem in Luft ausgeführten Ermüdungsversuch betrug die Wechselfestigkeit $\pm 39 \text{ kp/mm}^2$, selbst beim Berieseln mit Salzwasser.

| Wechsel- festigkeit | Lastzahl | Bem. |
|------------------------|-------------|-------|
| ± 34 | 129 000 | Bruch |
| ± 24 | 400 000 | " |
| ± 23 | 632 000 | " |
| ± 16 | 1 337 000 | " |
| ± 15 | 3 000 000 | " |
| ± 14 | 3 500 000 | " |
| ± 11 | 3 619 000 | " |
| ± 10 | 5 600 000 | " |
| ± 8 | 10 000 000 | " |
| ± 6 | 16 000 000 | " |
| $\pm 5,5$ | 37 000 000 | " |
| ± 5 | 33 250 000 | " |
| ± 4 | 55 300 000 | " |
| $\pm 3,3$ | 120 000 000 | " |

Man sieht aus der Tabelle, dass bei der Spannung $\pm 4 \text{ kp/mm}^2$ der Stahl 55 Millionen Lastwechsel aushält. Auf die Pleuelstange einer Gattersäge unter See-wassereinfluss angewandt würde dies bei einschichtigem Arbeiten einer Arbeitsdauer von etwa 12 Monaten entsprechen. Jedoch ist es wahrscheinlich, und dies wird auch durch die Statistik bestätigt, dass die Korrosionsverhältnisse im Sägewerk nicht so schlimm sind wie dieser Versuch voraussetzt. Auf jeden Fall ist es offenbar, dass es unter korrodierenden Verhältnissen überhaupt keine sog. Ermüdungsgrenze gibt; es ist

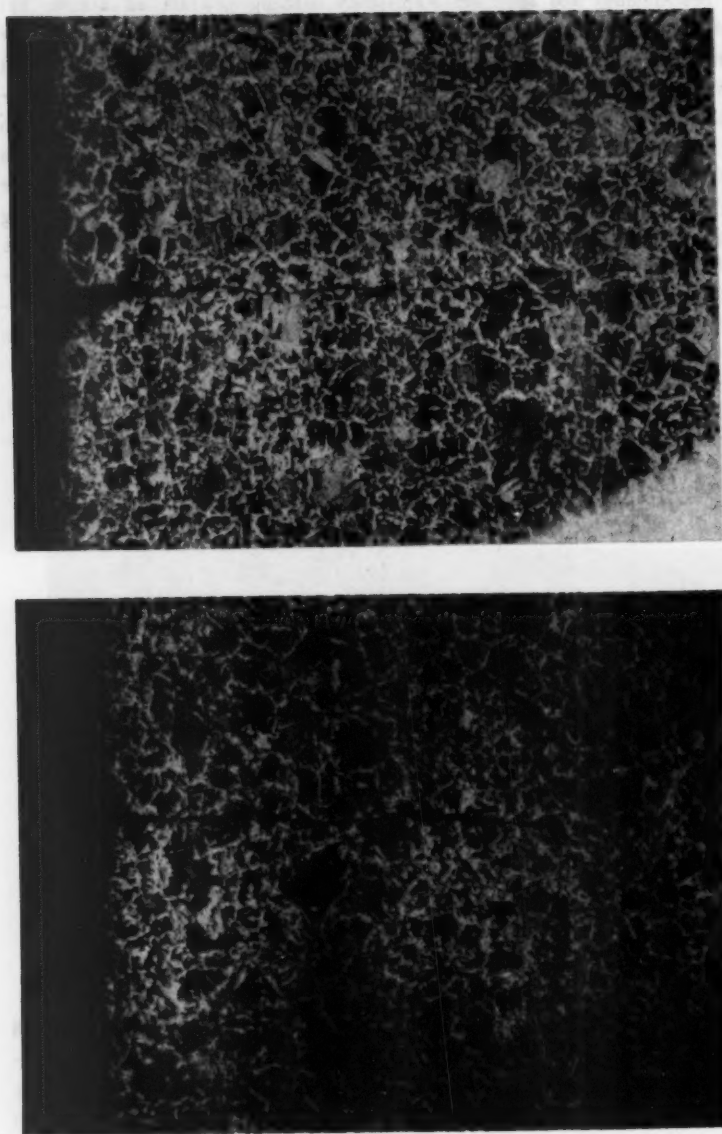


Bild 9. Zwei getrennte Brüche und deren Verlauf. Verg. 50 x.

Fig. 9. Two separate failures and their course. Magnification 50 x.

folglich äusserst wahrscheinlich, dass sämtliche Pleuelstangen insbesondere in den Sägewerken mit Seewassereinfluss binnen kurzem zum Bruch kommen, wenn nicht die Oberfläche der Pleuelstange korrosionsbeständig gemacht oder ein solches Material gewählt wird, das keine Korrosion zeigt; alternativ kann man sich einen solchen Entwurf der Säge denken, dass bei der Pleuelstange keine korrodierenden Verhältnisse herrschen. Bild 7 zeigt die einwandfreie, unkorrodierte Oberfläche einer neuen Pleuelstange und Bild 8 die weit fortgeschrittene Korrosion in der Pleuelstange einer Gattersäge mit Seewassereinfluss; das Alter der Pleuelstange in diesem Fall ist weniger als 5 Jahre. In Bild 9 sind die Ansätze der Ermüdungsbrüche an der Oberfläche zweier in der Ultraschallinspektion kassierter Pleuelstangen in 50 facher Vergrößerung vom Schliff photographiert zu sehen. Die Aufnahmen zeigen deutlich, wie der Ermüdungsbruch seinen Anfang gefunden hat und wie er durch die Kristalle hindurch fortschreitet.

4. STATISTIK ÜBER DIE PLEUELSTANGENBRÜCHE

Im Jahre 1953 wurde von sieben Sägewerken Statistik über die Brüche zusammengetragen, in denen insgesamt 36 Brüche festgestellt werden konnten. Sechs dieser Sägewerke lagen an der See, eines dagegen im inneren des Landes. Sämtliche zu Bruch gegangenen Pleuelstangen waren vom sog. alten Modell, d.h. solche mit einem Gleitlager als oberes Lager, 12 der Brüche hatten ihren Sitz am Stiel, 11 in der oberen Öse und 8 in der unteren Öse. In fünf Fällen war der Ort des Bruchs unbekannt.

Im Jahre 1958 wurde eine Statistik von insgesamt 21 Sägewerken gesammelt, in denen 35 Bruchfälle notiert werden konnten. Diese Statistik umfasst insgesamt 88 Gattersägen, darunter 52 solche mit Gleitlagerung der oberen Öse der Pleuelstange und 36 solche mit einem Nadellager neuen Typs. Eine Pleuelstange mit Nadellager wies in 8 Fällen Bruch am Stiel, in einem Fall an der unteren Öse und in keinem einzigen Fall an der oberen Öse auf. Der Pleuelstangentyp mit Gleitlagerung der oberen Öse hatte 17 mal am Stiel Bruch erlitten, einmal an der unteren Öse und 8 mal an der oberen Öse. Die Brüche der oberen Öse bei Pleuelstangen mit Gleitlagerung dürften zum Teil auf die grössere Reibungswärme zurückführbar sein, zum grossen Teil aber sind sie voraussichtlich durch ungünstige Formgebung bedingt. Ein Beweis hierfür ist der Umstand, dass überhaupt keine Brüche der oberen Öse bei Pleuelstangen mit Nadellager gefunden wurden. Heutzutage kommt die obere Öse nicht mehr mit Gleitlager zur Ausführung. Bezüglich der Statistik sei noch festgestellt, dass 15 Sägewerke ohne Salzwassereinfluss und 6 Sägewerke mit Seewassereinfluss untersucht wurden. In den ersteren wurden 15 und in den Sägewerken mit Seewassereinfluss 20 Brüche notiert. Hieraus erkennt man, dass die Brüche bei den Sägewerken ohne Salzwassereinfluss viel seltener als bei den Sägen mit Seewassereinfluss sind. Das gleiche bezeugt auch die Statistik vom Jahre 1953.

Im Laboratorium für Metalltechnik der Staatlichen Technischen Forschungsanstalt sind während etwa vier Jahren im Auftrag verschiedener Sägewerke Ultraschall-

inspektionen von Pleuelstangen ausgeführt worden [6]. Bisher sind derart für 12 verschiedene Sägewerke insgesamt 135 Pleuelstangen untersucht worden. Diese Zahl enthält Wiederholungen der Inspektion bei ein und derselben Pleuelstange. Insgesamt wurden 72 Bruchansätze gefunden, die sich über den ganzen Stiel verteilen, obwohl sie eine grössere Neigung zeigen, sich an beiden Pleuelstangenenden einzustellen; hierauf weist auch die in Abschnitt 3 festgestellte, auf Temperatursteigerung zurückbare reichlichere Korrosion der Enden hin. Die Brüche hatten im allgemeinen eine Tiefe von 1 ... 6 mm. Ein Teil der Bruchansätze waren solche, wo als deren anfängliche Ursache irgendeine durch Stoss an der Pleuelstangenkante entstandene Kerbe angenommen werden konnte. Falls es nicht möglich war, den beobachteten Bruchansatz durch Abfeilen völlig zu entfernen, wurde Kassieren der Pleuelstange empfohlen.

5. DAUERSTANDFESTIGKEITSVERSUCH MIT EINER PLEUEL-STANGE

Im Laboratoriumverhältnissen wurde ein Biegeermüdungsversuch mit einer solchen kassierten Pleuelstange vorgenommen, die im Sägewerk 2 Jahre lang Dienst geleistet hatte und in der sich im Gebrauch ein Riss von etwa 2 mm Tiefe eingestellt hatte. Korrodierende Verhältnisse waren keine vorhanden. Der Versuch wurde mit Hilfe eines Pulsators mit der Frequenz 500 U/min ausgeführt, und zwar variierte die Biegespannung im Versuch zwischen $+5 \text{ kp/mm}^2 \dots +17 \text{ kp/mm}^2$. Dies liegt denjenigen Spannungsverhältnissen nahe, die sich im Betrieb in der Pleuelstange einer Säge ergeben. Das Fortschreiten des Bruchs wurde durch Ultraschallbeobachtungen und mittels eines elektrischen Risstiefenmessers verfolgt. Bild 10 sowie beistehende Tabelle geben ein Bild vom Fortschreiten des Risses.

| Stadium | Lastzahl |
|---------|------------|
| 1 | 0 |
| 2 | 1 320 600 |
| 3 | 4 698 000 |
| 4 | 10 700 000 |
| 5 | 11 425 000 |
| 6 | 13 867 500 |
| 7 | 14 644 100 |
| 8 | 15 072 400 |
| 9 | 15 109 500 |

Dies entspricht im Betrieb der Gattersäge einer Zeit von 4 Monaten bei einem 8 stündigen Arbeitstag. Der ausgeführte Versuch stimmt gut mit den Erfahrungen über-

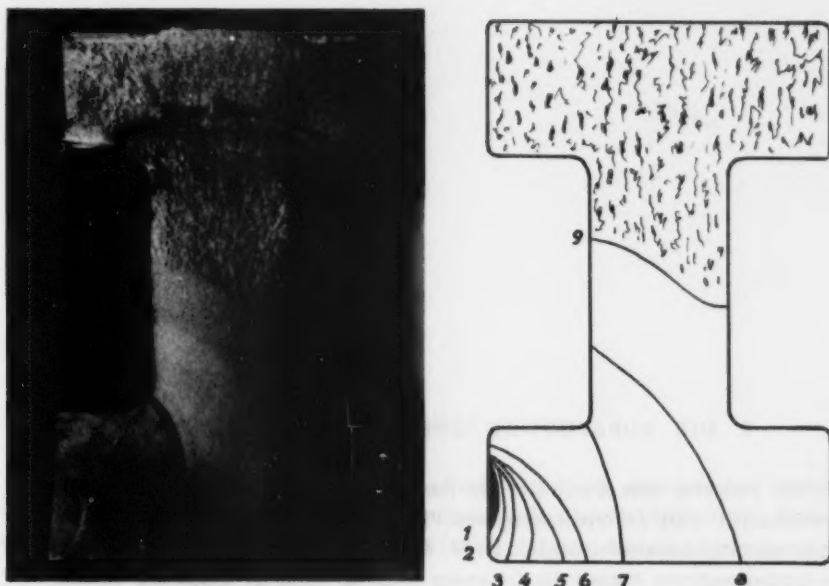


Bild 10. Ermüdungsversuch mit einer Pleuelstange.

Fig. 10. A connecting rod in the fatigue test.

ein, die bezüglich der Brüche der bei erfolgter Ultraschallinspektion als unversehrt befundenen Pleuelstangen gewonnen worden ist. Es ist nämlich vorgekommen, dass eine als völlig einwandfrei festgestellte Pleuelstange nach viermonatigem Betrieb, allerdings in zwei Arbeitsschichten, zu Bruch gegangen ist. Das Ergebnis steht im Einklang mit den Resultaten von Gough [5].

6. DIE VORBEUGUNG DER PLEUELSTANGENBRÜCHE

Die Tatsache, dass es sich hier um Korrosionsermüdung handelt, macht es selbstverständlich, dass die Vorbeugung von Pleuelstangenbrüchen durch geeignete Korrosionsschutzmassnahmen möglich ist [8, 4, 1]. Von den vielen prinzipiell möglichen Schutzmassnahmen können die folgenden zwei als geeignet angesehen werden.

In der chemischen und bergmännischen Industrie wird die s. g. Hartgummierung sehr vielfältig verwendet. Sachgemäss gewählte Hartgummibeläge vermögen die unterliegenden Stahloberflächen sowohl gegen Korrosion als auch gegen Verschleiss zu schützen.

Grössere Stahlkonstruktionen werden oft mit Zink bespritzt, und die poröse Zinkschicht anschliessend mit einer zinkchromathaltigen Grundfarbe und einer entsprechenden Deckfarbe überzogen.

Es ist wahrscheinlich, dass eine dieser beiden Schutzmethoden die Lebensdauer der hier erwähnten Pleuelstangen bedeutend verlängern kann, vorausgesetzt, dass die Schutzbeläge durch Fachkräfte angebracht werden.

7. ZUSAMMENFASSUNG

1. Das Pleuelstangenmaterial sowie die darauf beim Sägen einwirkenden Kräfte sind im Aufsatz behandelt worden. Die Berechnung liefert für die dynamische Beanspruchung der Pleuelstange den Wert $\pm 4 \text{ kp/mm}^2$; Messung mittels Dehnungsmessstreifen ergibt $\pm 5 \text{ kp/mm}^2$.

2. Die Korrosionsermüdung im allgemeinen sowie die in den finnischen Sägewerken herrschenden korrodierenden Verhältnisse werden besprochen. Die Betrachtung führt zu dem Schluss, dass in den herrschenden Verhältnissen eine ungeschützte Pleuelstange mit Gewissheit binnen kurzem zum Bruch kommt und dass die vorwiegende Ursache hierfür die Korrosionsbedingte Ermüdungsbelastung ist. Es werden zahlreiche, durch Bilder erläuterte Beispiele der Korrosion sowie von Ermüdungsbrüchen und Bruchansätzen gegeben.

3. Es wird eine Statistik der in Finnland eingetroffenen Ermüdungsbrüche und Bruchansätze bei Pleuelstangen dargestellt. Es sind insgesamt 71 Ermüdungsbrüche bei 28 Sägewerken festgestellt worden. Bei Sägen mit Seewassereinfluss sind die Brüche weit häufiger als bei Sägen, die keinem Salzwasser ausgesetzt sind. Mittels Ultraschall sind 135 Pleuelstangen untersucht worden, und zwar wurden in diesen 72 Bruchansätze von 1 ... 6 mm Tiefe gefunden. Die Brüche bevorzugen beide Enden der Pleuelstange, worauf auch die stärkere Korrosion hinweist, die auf die erhöhte Temperatur der Enden zurückzuführen ist, welche durch die Lagerreibung hervorgerufen wird. Bei Pleuelstangen mit Nadellager hat sich kein einziger Bruch der oberen Öse ereignet.

4. Es wird eine in Laboratoriumsverhältnissen ausgeführte Untersuchung des Fortschreitens eines Ermüdungsbruchs in einer solchen Pleuelstange dargestellt, die nach festgestelltem geringerem Ansatz zum Ermüdungsbruch kassiert worden war, Bild 10.

5. Es werden dem Schrifttum entnommene Angaben bezüglich des Schutzes der Pleuelstangen gegen Ermüdungskorrosion gemacht.

SUMMARY

FATIGUE FAILURES OF THE CONNECTING RODS OF FRAME SAWS UNDER CORROSION

1. The material of the connecting rod and the forces acting upon it at sawing are discussed. Calculation yields for the dynamic stress of the connecting rod the value $\pm 4 \text{ kp/mm}^2$, measurements with strain gauges, the value $\pm 5 \text{ kp/mm}^2$.

2. Fatigue under corrosion in general and the corrosive conditions in the saw mills in Finland are treated. The author arrives at the result that under the prevailing conditions an unprotected connecting rod will inevitably fail before long and that is principally caused by fatigue load under corrosion. Numerous examples and illustrations relating to corrosion and fatigue failures and to incipient failure are presented.

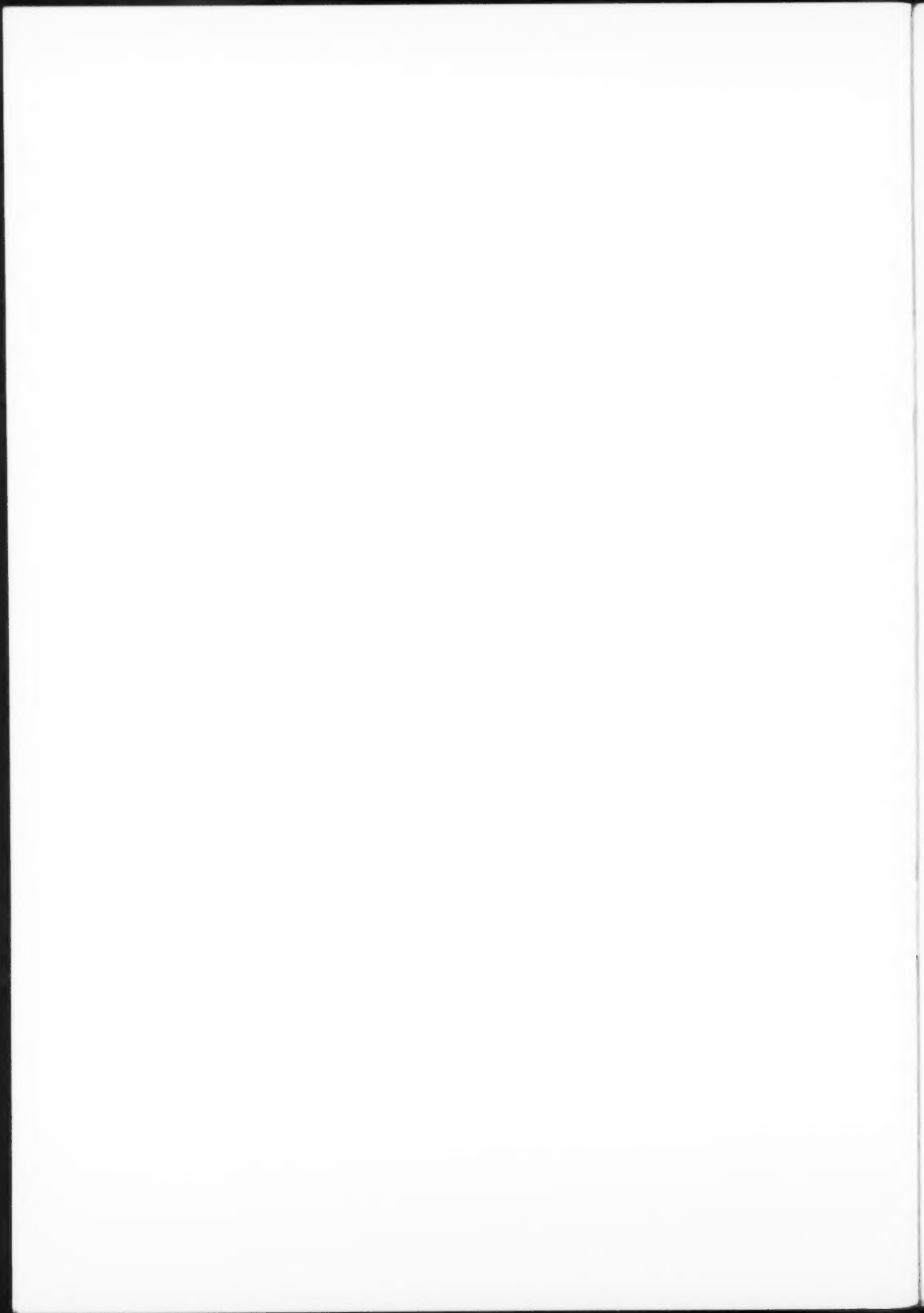
3. A statistics is presented of the fatigue failures and incipient failures of connecting rods in Finland. Altogether 71 fatigue failures have been established in 28 saw mills. Failures are much more frequent in seaside than in inland saw mills. 135 connecting rods have been investigated with the aid of ultrasonics, with the result that 72 incipient failures of 1 to 6 mm depth were found. The failures prefer localisations closer to the ends of the connecting rod; this trend is consistent with the heavier corrosion of the ends due to their increased temperature, which is caused by bearing friction. In connecting rods with needle bearing no failures of the upper eye have occurred.

4. An investigation, carried out in laboratory conditions, of the progress of a fatigue failure in a connecting rod removed from service and with an established, lesser incipient fatigue failure is presented (Fig. 10).

5. Information derived from the literature, relating to the protection of connecting rods against fatigue corrosion is presented.

8. SCHRIFTTUM

1. Burns, R. M. and Bradley, W. W.: Protective Coatings for Metals, New York 1955
2. Cazaud, R.: Fatigue of Metals. London 1953.
3. Kivimaa, E.: A Method for Measuring Cutting Force in Frame Sawing [The State Institute for Technical Research, Helsinki]. Im Druck.
4. Klas, H. und Steinrath, H.: Die Korrosion des Eisens und ihre Verhütung. Düsseldorf 1956.
5. Lessels, J. M.: Strength and Resistance of Metals, New York 1954.
6. Olkkonen, E.: Mahdollisuudet kehäsaahan kiertoakankivaurioiden ehkäisemiseksi ultraäänitarkastuksilla. Paperi ja Puu 39 (1957):9.
7. Siebel, E.: Handbuch der Werkstoffprüfung II. Berlin 1955.
8. Tödt, F.: Korrosion und Korrosionsschutz. Berlin 1955.



LAST ISSUES OF ACTA POLYTECHNICA

Mechanical Engineering Series

(the predecessor of Acta Polytechnica Scandinavica)

Volume 2

- Nr 4 LUNDBERG, G, and PALMGREN, A: *Dynamic Capacity of Roller Bearings*. Acta P 96 (1951), 32 pp. Sw. Kr 5: 00 UDC 539.313.621.882.7.8
- Nr 5 KARLSON, K G: *Sur le frein à sabots extérieurs articulés*. Acta P 100 (1951), 31 pp. Sw. Kr 5: 00 UDC 621.392.112
- Nr 6 WIDELL, T A, and JUHASZ, S I: *Metal Temperature in Regenerative and Recuperative Air Preheaters*. Acta P 103 (1952), 50 pp. Sw. Kr 6: 50 UDC 625.923:620.19
- Nr 7 PETERSSON, S: *Investigation of Stress Waves in Cylindrical Steel Bars by Means of Wire Strain Gauges*. Acta P 118 (1953), 22 pp. Sw. Kr 3: 50 UDC 534.1.08
- Nr 8 FALKEMO, C: *On the Possibilities of Estimating the Towing Resistance of Ships by Tests with Small Models. I*. Acta P 122 (1953), 51 pp. Sw. Kr 7: 00 UDC 629.12.072.5.001.57
- Nr 9 ODQVIST, F: *Influence of Primary Creep on Stresses in Structural Parts*. Acta P. 125 (1953), 18 pp. Sw. Kr 2: 50 UDC 539.434
- Nr 10 OLSSON, U: *Non-circular Cylindrical Gears*. Acta P 135 (1953), 214 pp. Sw. Kr. 18: 00 UDC 621.833.5.621.834

Volume 3

- Nr 1 PETERSSON, O: *Circular Plates Subjected to Radially Symmetrical Transverse Load Combined with Uniform Compression or Tension in the Plane of the Plate*. Acta P 138 (1954), 30 pp. Sw. Kr 7: 00 UDC 539.384.4
- Nr 2 NIORDSON, F: *Vibrations of a Cylindrical Tube Containing Flowing Fluid*. Acta P 139 (1954), 28 pp. Sw. Kr 4: 00 UDC 534.131.2
- Nr 3 NIORDSON, F: *Vibrations of Turbine Blades with Loose Hinge Support*. Acta P 140 (1954), 11 pp. Sw. Kr 5: 00 UDC 534.014.1:621.253.5
- Nr 4 KARLSSON, K I: *Simple Calculation of Deformation and Stress in the Shell of Thin-walled Cylindrical Vessels*. Acta P 162 (1954), 24 pp. Sw. Kr 8: 00 UDC 539.384.6
- Nr 5 STENEROTH, E: *On the Transverse Strength of Tankers*. Acta P 169 (1955), 104 pp. Sw. Kr 11: 00 UDC 539.4:629.123.56
- Nr 6 DAVIDSSON, W: *Investigation and Calculation of the Remaining Tensile Strength in Wire Ropes with Broken Wires*. Acta P 174 (1955), 38 pp. Sw. Kr 8: 00 UDC 621.86.065.3:620.172
- Nr 7 GÖTZLINGER, J, and JOHNSON, S: *Dynamic Forces in Cranes*. Acta P 175 (1955), 34 pp. Sw. Kr 8: 00 UDC 621.873.001.2:621.873:351.78
- Nr 8 SCHRÖDER, H: *Distribution of the Surface Pressure over the Friction Lining of Brakes with Rigid Shoes and Drums, and Efficiency of Such Brakes*. Acta P 188 (1956), 44 pp. Sw. Kr 6: 00 UDC 621.592:629.113
- Nr 9 FALKEMO, C: *On the Possibilities of Estimating the Towing Resistance of Ships by Tests with Small Models. II*. Acta P 201 (1956), 15 pp. Sw. Kr 5: 00 UDC 629.12.072.5.001.57
- Nr 10 KARLSSON, I: *On the Stability of the Steel Lining in a Vertical Pennstock Shaft*. Acta P 211 (1957), 22 pp. Sw. Kr 8: 00 UDC 627.8.014.2:627.8.044
- Nr 11 TOFTDAHL OLESEN, H: *Calculations on Jog Conveyors*. Acta P 220 (1957), 20 pp. Sw. Kr 5: 00 UDC 621.867.31

ACTA POLYTECHNICA SCANDINAVICA

Mechanical Engineering Series

- Me 1 COLDING, B: *Testing of Machinability by Radioactive Methods*. (Acta P 243/1958) 42 pp. + figs. Sw. Kr 7: 00 UDC 621.9.025:620.178.16:539.16.004.14
- Me 2 KJÆR, VIGGO A. *Vertical Vibrations in Cargo and Passenger Ships*. (Acta P 244/1958) 52 pp. Sw. Kr 7: 00 UDC 534.832.1:620.12.07
- Me 3 EIRO, OLAVI, *Die Ermüdungsfestigkeit des Schweissmetalls*. (Acta P 250/1958) 26 pp. Sw. Kr 7: 00 UDC 539.431.3:669.162:621.791.7

Price Sw. Kr. 7.00

